早稲田大学理工学部
機械工学科永田研究室

LCAによる廃棄物処理技術の導入評価資料

１．　研究目的

近年，経済社会活動の飛躍的拡大や生活様式の変化により各種の地域的・地球規模的な環境問題が発生している．製品などが環境や資源に与える環境負荷を定量的に評価する手法であるライフサイクルアセスメント（ＬＣＡ）が，上記の問題を処する上での有効な手法として近年急速に注目を集めている．これまでにＬＣＡをエネルギー関連等の技術分野にも拡張させ，技術のライフサイクルアセスメント（ＴＬＣＡ）手法として開発することを目的とする．ＴＬＣＡはプラントの建設から撤去・リサイクルと，機器などの資源採取から廃棄・リサイクルを通しての投入・排出が人体や生態系などに及ぼす環境負荷を定量的に評価する方法である．このＴＬＣＡの概念を図１．１に示す．本研究ではアンケートにより９つのインパクトカテゴリー間の重要度を推定し，これを用いる指標統合化手法ＥＬＰ（Environmental Load Point）を提案している．

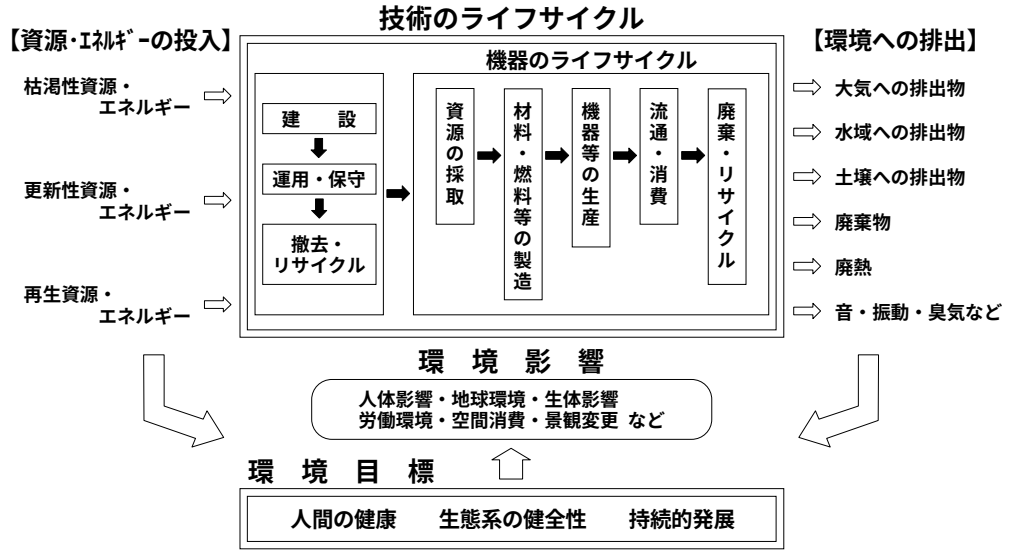

図１．１　ＴＬＣＡの概念

２．　ライフサイクルアセスメントの従来動向

２．１　ライフサイクルアセスメントの必要性

近年，生活レベルの向上にともない，廃棄物の質が多様化するとともに排出量も増加し，処理・処分場の不足が顕在化している．また，処理・処分の費用も高騰の傾向にあり，廃棄物をとりまく環境は厳しいものとなっている．一方，昨今の地球環境問題に関する関心の高まりから，地球資源の有効活用に対しての要請も強まってきている．こうした情勢から国民全体で廃棄物の減量化・再資源化に取り組むリサイクル社会の構築が抜本的対策として掲げられ，いわゆる「リサイクル法」の制定や「廃棄物処理法」の改正へと展開するに至り，また「バーゼル新法」,「産廃施設整備促進法」,「省エネ・リサイクル支援法」の成立を促した．すでに，ドイツでは包装材（飲料のビンやカンを含む）についての規制が実施され，製造業者や販売業者に対してその回収・再資源化の義務付けが行われている．こうした規制を廃自動車や廃家電製品・電子機器，さらには新聞等の印刷物，建設廃材などに対して拡大させようとの動きが報じられている．わが国でも「リサイクル法」では，再生資源としての利用促進がとくに必要な第一種製品として，すでに自動車や家電製品が指定され，さらに，ニカド電池を使用する電動工具等 16 品目が追加された．こうした製品にあっては，リサイクルに有利な材料選択や構造の工夫，分別・分離への配慮等を設計時に事前評価することが求められている．また,「環境基本法」においても，製品等に関し廃棄物の適正処理や，使用時を含めた環境への負荷の軽減が求められ，再生資源の有効活用が望まれている．

こうした情勢にあって，環境負荷をそのライフサイクル全体，いわゆる「ゆりかごから墓場まで」にわたって定量・評価しようとの試みがライフサイクルアセスメント(Product Life Cycle Assessment/ Life Cycle Assessment：製品を対象とした場合，ＰＬＣＡと呼ぶことがあるが，一般にはＬＣＡと略す)として注目されている．ＬＣＡの対象は，製品に限らず，個別の製造システムや各種のサービス等もろもろの活動にわたる．こうしたＬＣＡの手法開発が現在，わが国を含め，先進諸国で活発に行われており，また国際標準化（ＩＳＯ）も進められているが，定まった方法はいまだ決定されていない．ＬＣＡのなかでも廃棄物処理やリサイクルは，製品の寿命体系における最終段階として重要な意味をもつ．リサイクルは，処女資源→素材→加工・生産→使用→廃棄という従来の一方通行の産業・社会体系を，廃棄から，あるいは廃棄に至る中間過程から材料や素材，原料に戻すという，いわゆる負のプロセス（還元プロセス，静脈ルート）をこれに付加するものであり，これによって循環体系を完成させようとするものである．リサイクルの方法は大きく，マテリアルリサイクルとサーマルリサイクルに大別される．最近，プラスチック系廃棄物に化学反応を起こさせ，燃料や化学原料を回収する方法が開発されており，これをケミカルリサイクルと呼ぶが，最終的に燃料として用いればサーマルリサイクルとなり，原料として利用すればマテリアルリサイクルとなる．こうしたリサイクルにおいても，単に減容化や再生利用，エネルギー回収といったメリットだけでなく，その他の影響を含め，環境負荷を総体として評価しなければならない時代となってきている．

２．２　製品アセスメントのＬＣＡ

リサイクル法の制定以来，製品アセスメントが話題になっている．製品アセスメントの概念はきわめて大きく，一般的には「製品生産者が生産を行う前に，当該製品の生産・流通・使用・廃棄・再資源化／処理処分の各段階における安全や資源，環境への影響を調査，予測および評価し，必要に応じて製品設計や生産法等の変更を行って影響の軽減化を図る」ことと定義されている．このなかには，すでにテーマとして個別に進行している労働環境の改善，生産や使用時における省エネルギー，環境汚染物質の削減等も含まれることになる．

一般的な工業製品に対する製品アセスメントの枠組みは生産→流通→使用→廃棄→再資源化／処理処分の流れに従っている. 各段階ごとのアセスメント内容では廃棄物関連項目を重点に示したが, このほか全段階に対して安全性, 資源保全性および環境保全性等が検討さなければならない. また, 製品の取扱者が適正に処置できるよう，製品表示や取扱説明書の妥当性についての考慮も必要である．

処理困難性アセスメントに関連しては最近，改正廃棄物処理法第６条３項指定廃棄物として 250Ｌ以上の大型冷蔵庫や 25 インチ以上の大型テレビ，スプリングマットレス，タイヤが指定され，事業者に自主回収・処理が求められることになった．またリサイクル法第一種指定製品を含め，各種製品に対してごみアセスメントの実施が望ましいとして，産業構造審議会からガイドラインが提示されている．本来の製品アセスメント（広義）は，上述したようにごみアセスメントに加えて安全性，資源保全性，環境保全性等の評価項目を含む．一般に，第一種指定製品に対して実際に行われているアセスメントは，ごみアセスメントから製品アセスメントにわたる範囲内にある．

２．３　ＬＣＡの概要

近年，国際的な傾向として「廃棄物の環境への影響」に関心が集まり，特定の有害物質の排気や，廃棄物として処理しやすいか，リサイクルが可能か，など廃棄段階における環境負荷に着目した議論がなされている．

そのような中，世界各国でＬＣＡに大きな関心が寄せられている．ＬＣＡは，前述した製品アセスメントの評価項目をできるだけ定量化しようとするものであると理解することもできる．

製品を例にとると，ＬＣＡの概念は図２．３．１のように表すことができる．ＬＣＡでは原材料の製造やそのための資源採取，さらには各段階での輸送，使用時のエネルギー・資源の消費，廃棄段階での処理・リサイクルなど，図２．３．１のような製品のライフサイクルにわたる全ての行為が対象となり，その環境影響も人体や生体さらには空間消費，景観変更など広範な内容に及ぶ．

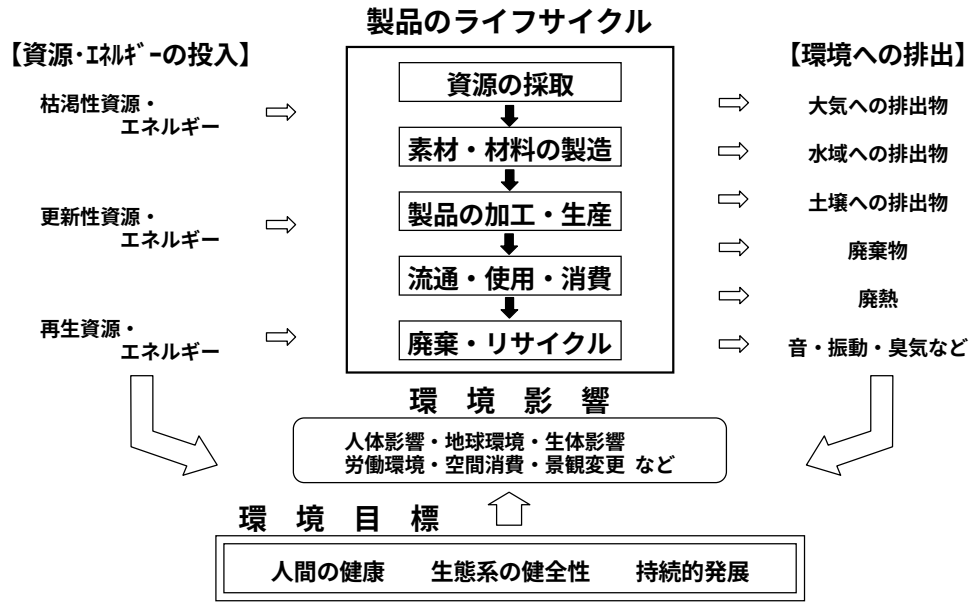

図２．３．１　ＬＣＡの概念

一般にＬＣＡの構成は図２．３．２のように理解されている．

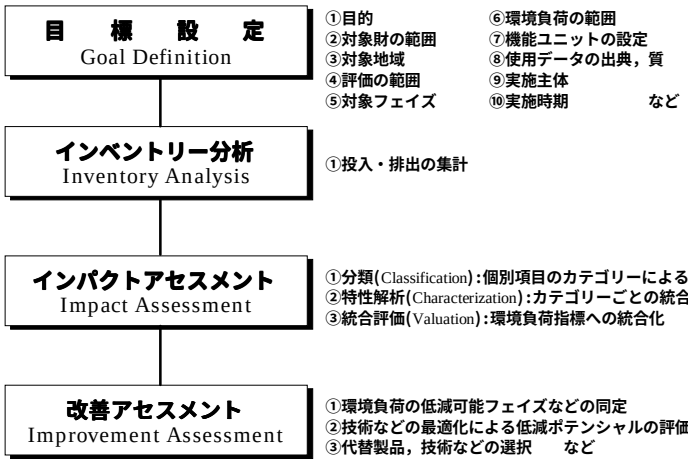

図２．３．２　ＬＣＡの流れと概要

目標設定はＬＣＡを実施する上での取り組むべき課題や前提を定義し，達成すべき目標を明確にする等，ＬＣＡを行うための条件を設定する段階である．ＬＣＡの実施にあたって，その実施の目的，範囲，方法等を明確にする目的の設定と範囲の明確化はもっとも重要な部分であり，この段階が不明確であるとＬＣＡにより得られた結果の客観性そのものが疑われることとなるため，ＬＣＡの結果をどのような意志決定に用いるのか，どのような情報が要求されているか等を慎重に考慮する必要がある．

ＬＣＡの実施の目的としては

１．製品・製法等の変更・改良に伴う環境負荷の評価
２．環境目標値，基準値等に対する達成度の評価
３．環境負荷低減面からの製品・製法等の改善点の抽出
４．新規製品の開発等における環境負荷等の評価
５．製品間(代替製品も含む)の環境負荷の比較
６．流通・処理・リサイクル等社会システムの検討評価
７．ライフスタイルの評価と改善目標の抽出
８．事業者の環境にやさしい製品づくり，環境を意識した製品づくりの促進
９．消費者への公平な情報の提供

等があり，特にどのような目的で，何をターゲットに行ったかを明記する必要がある．

実施の範囲の明確化はＬＣＡのインベントリー分析，環境負荷影響評価，環境負荷改善評価を実施する範囲を決定するものである．対象範囲として決定すべき事項には，

１．地域的な範囲（国内のみか，海外も含むか）
２．評価の範囲（インベントリー分析のみか，環境負荷影響までを実施するか等）

３．対象ステージ（ライフサイクルのどの部分を対象とするか，あるいはライフサイクル全体を対象とするか，リサイクルは含めるか等）
４．対象とする環境負荷項目（廃棄物処理問題，地球温暖化，エネルギー枯渇等どの環境負荷を評価の対象とするか）

等があり，その他必要に応じて実施者が適宜範囲設定する必要がある．

インベントリー分析は，調査あるいはデータ収集の過程を示し，対象製品のライフサイクルに従い，そこに投入あるいは排出される全ての原材料，エネルギー，生産物，廃棄物等の量を確定し，その一覧表を作成することである．現在までのＬＣＡ事例においてはインベントリー分析が主体であり，この段階だけを独立させてライフサイクルインベントリー（ＬＣＩ）とも言われる．

インベントリー分析の手法は２つに大別することができる．一つは「産業連関法」といわれるもので約 500 項目にわたる産業連関表を使用し，部門間の金額ベースのやりとりから特定製品のエネルギー・負荷を算定するもので，マクロなレベルで分析できることに特徴がある．

もう一つはライフサイクルの各段階において投入した資源･エネルギー(インプット)と排出物(アウトプット)を詳細に計算し集計することで全ライフサイクルにおける環境負荷を求めるもので，「積み上げ法」といわれ環境負荷の実体と原因を明確にし，対策の検討と効果を評価できることに特徴がある．なお，我々は評価手法として積み上げ法を用いた．以下，積み上げ法について述べることにする．

インパクトアセスメントはインベントリー分析の結果得られた投入排出量を環境への影響として評価する段階で，以下に述べるように分類，特性解析，評価の３つのステップから構成される．評価においては，インベントリー分析において明確にした投入排出量をある環境負荷評価に置き換える手法が大きな課題になっており，環境負荷の項目毎に統合化する方法や環境負荷全体を統合化する方法が考えられている．現時点では，環境負荷全体を統合的に評価しうる指標は確立されておらず，インベントリー分析の結果をそのまま個々の負荷に置き換えることや，重みづけ係数等を用いて項目毎に統合化すること等が行われている．

（１）分類

インベントリー分析によって得られた個別項目がどのようなインパクトカテゴリー（環境負荷項目）に当てはまるのかを判別する作業である．環境負荷の評価視点としては，地球環境問題と地域環境問題（例えば地球温暖化，オゾン層の破壊，大気汚染），資源消費の問題と環境負荷の問題(例えばエネルギー枯渇，資源の消費）などに大きく分けて考えられる．

分類を実施するにあたっては,いくつかの視点から重複的に問題となるインベントリー分析の項目（ＳＯｘ，ＮＯｘ→酸性雨，大気汚染）をどう評価するか，因果関係を持つインベントリー分析の項目（森林資源消費→地球温暖化）をどう評価するかなどを明確にした上で分類の体系を作成することが必要である．

（２）特性解析

特性解析は分類の結果，インパクトカテゴリー毎に並び替えられた投入・排出量について，各々の

項目毎に影響度として計算するステップである.同じ項目に属する環境負荷であっても各の相対影響度は異なるので，何らかの指標によって重み付けを行ってから集計をすることが必要である．また，ある環境への重み付けの例としては

・地球温暖化　　→ ＧＷＰ値（Global Warming Potential）
・オゾン層破壊　　→ ＯＤＰ値（Ozone Depleting Potential）
・大気汚染，水質汚濁 → 環境基準値の逆数

などが考えられる.

（３）評価

評価はインパクトカテゴリーごとの指標をさらに統合化して，いわゆる環境負荷を一つの指標で表現しようとするものである．複数の代替案を比較する場合に，不明瞭さのない結論を得ることが目的であれば，この段階が必要になる．ＬＣＡに特徴的な手法としては，

・エコファクター（容認環境負荷量と実環境負荷量の比）を用いる方法
・政策目的や専門家による判定値を用いる方法

があるが，客観的か科学的かの判断では疑問が呈されることも多い．評価は“環境にやさしい”ことの指標を示すことであり，一般の人々にとってわかりやすい判断材料となる．したがって，その重要性や意義は十分強調されてしかるべきであるが，またそれだけに問題点も多く，ＬＣＡ開発者の中には，この評価をＬＣＡに含めることに反対している者もいる.

また，どのようなインパクトカテゴリーを重要と考えるかは，国や地域によって，さらにまた各個人によって異なることがあり，異なる環境視点の環境負荷を相互に比較する方法は，社会としての価値観や好みに依存する面もあることを認識しておくことが必要である.

改善アセスメントはインベントリー分析，インパクトアセスメントの結果から，環境負荷等を総合的に改善するための変更点を検討，抽出し，その改善策について検討するステップである．今のところ具体的な手法や内容は確定しておらず，今後のＬＣＡ関連研究の推進やＬＣＡの適用による製品の改良，製品設計などの実施例の蓄積により，その手法を明確化していくことが必要である.

いずれにしろ，この段階では，インベントリー分析，インパクトアセスメントの結果を総合的に考慮し，どのような点において，どのような改善策が可能かを判断することになる．そして，さらなる検討により，それぞれの改善策の効果を比較分析し，最終的結論を導き出すことになる.

３．　環境負荷の重要度に関する調査と検討

環境影響を表す指標を統一し環境負荷を一つの数値で表示しようとするとき，インパクトカテゴリー内における重み付け，いわゆる特性解析とともに重要な意味を持ってくるのがカテゴリー重要度である．カテゴリー重要度は，エネルギー消費や地球温暖化，酸性雨などの異なるカテゴリーごとの環境負荷値に乗ずる係数であり，これにより環境負荷が最終的に一つの値に統一されるものである．指標の統合化は，これまでも「エコポイント」などの形でいくつかの機関で試みられてきた．

本研究においても，アンケートを用いてカテゴリー重要度を推定することをはじめ，今後のＬＣＡ手法の開発のための指針を得る目的で「ＬＣＡに関するアンケート調査」を実施してきた．内容としては，ＬＣＡの手法の枠組みや開発などにあたっての考え方，課題などの意識調査に加え，上記カテゴリー間の重み付けに関してＡＨＰ階層法などにより質問している．後者（カテゴリーの重み付け）に関するアンケートは，これまでに１０対象に対して調査を実施している．

３．１．１　アンケート対象と設問・回答形式

カテゴリー重要度は９つのインパクトカテゴリーを設定し，順位法，配分法，階層法の３形式で回答を求めた．また，インパクトカテゴリーよりも上位の環境として５つの保全・維持すべき目標（以下環境目標と呼ぶ）を設定し，その重要度を順位法で回答を求めた．それぞれの設問は以下の通りである．

・順位法，配分法によるカテゴリー重要度を問う設問

９つの環境影響を以下の表に示します．あなたが最も重要と思われるものから順に１～９までの番号をつけて下さい．

また，各環境影響に，合計が 100 になるように重要度を割り振って下さい．

	環境影響									
	エネルギー枯渇	地球温暖化	オゾン層破壊	酸性雨	資源の消費	大気汚染	海洋・水質汚染	廃棄物処理問題	生態系への影響	
順位										
配点										計 100

・階層法によるカテゴリー重要度を問う設問

表にあげた９つの環境影響をＡ対Ｂで比較した場合，どちらがどれくらい重要かを判断し，別表の重要度の定義からそれに該当すると思われる尺度を選択し，記入して下さい．同じ尺度を何回使っても構いません. また定義された重要度の中間としたい場合には, 尺度の中間の値(1/8, 1/6, ‥‥, ６，８）を使って下さい.

例：Ａのエネルギー枯渇とＢの地球温暖化を比較した時，Ａのエネルギー枯渇の方がかなり重要であると思われた場合は，上から１番目，左から２番目の欄に５と記入して下さい.

環境影響		B								
		エネルギー枯渇	地球温暖化	オゾン層破壊	酸性雨	資源の消費	大気汚染	海洋・水質汚染	廃棄物処理問題	生態系への影響
A	エネルギー枯渇	1								
	地球温暖化	－	1							
	オゾン層破壊	－	－	1						
	酸性雨	－	－	－	1					
	資源の消費	－	－	－	－	1				
	大気汚染	－	－	－	－	－	1			
	海洋・水質汚染	－	－	－	－	－	－	1		
	廃棄物処理問題	－	－	－	－	－	－	－	1	
	生態系への影響	－	－	－	－	－	－	－	－	1

重要度の定義

尺度	定　義
9	Ａの方がＢに較べて極めて重要
7	〃　非常に重要
5	〃　かなり重要
3	〃　やや重要
1	同じくらい重要
1/3	Ｂの方がＡに較べてやや重要
1/5	〃　かなり重要
1/7	〃　非常に重要
1/9	〃　極めて重要

（８，６，４，２，1/2，1/4，1/6，1/8 は中間の時に用いる）

・順位法により環境目標の重要度を問う設問

一般にＬＣＡで”環境”として保全すべき対象には，以下の５つが挙げられています．重要と思われる順に（　）に番号を記入して下さい．また，その他に考慮すべき対象がありましたら書いて下さい．

・資源・エネルギー（　）　・生態系の健全性（　）　・審美的価値(景観等)（　）
・人間の健康　（　）　・将来の生産(食料・生産財等)（　）
・その他対象として考慮すべきもの（　　）

これらの設問を表３．１．１に示す対象に対して実施した．依頼数，回答数，回答率も併せて示す．

表３．１．１　アンケート対象

アンケート対象		依頼数	回答数	回答率	階層法有効回答数
Ａ財団会員企業	ＬＣＡ専門家	36	30	83%	29
	環境一般	621	112	18%	102
化学系Ｂ学会	企業内環境専門家	96	48	50%	39
	一般会員	121	50	41%	47
早大理工 学生		57	57	100%	54
大妻女子大 学生		49	49	100%	45
環境科学者		123	68	55%	63
釜山水産大 学生		60	60	100%	60
アムステルダム大 学生		81	17	21%	15
ヨーロッパ環境科学者		150	60	40%	30

３．１．２　カテゴリー重要度の平均値と回答形式間の比較

９カテゴリーの合計が１となる様にカテゴリー重要度の平均値を算出し，表３．１．２に示す．また，一般会員のカテゴリー重要度を回答形式間で比較した結果を図３．１．１に示す．回答形式間にはかなりの類似性があることが確認できる．

表３．１．２　カテゴリー重要度一覧

	名称	回答形式	ｴﾈﾙｷﾞｰ	温暖化	オゾン層	酸性雨	資源	大気	水質	廃棄物	生態系
A	Ａ財団会員企業	順位法	0.101	0.144	0.125	0.099	0.079	0.134	0.121	0.092	0.107
	ＬＣＡ専門家	配分法	0.105	0.149	0.119	0.088	0.087	0.122	0.116	0.102	0.111
		階層法	0.101	0.165	0.114	0.082	0.072	0.130	0.126	0.086	0.124
E	Ａ財団会員企業	順位法	0.098	0.103	0.113	0.093	0.083	0.137	0.123	0.104	0.146
	環境一般	階層法	0.103	0.095	0.109	0.084	0.080	0.136	0.126	0.101	0.165
B	化学系Ｂ学会	順位法	0.127	0.128	0.113	0.098	0.102	0.114	0.111	0.081	0.127
	企業内環境専門家	配分法	0.128	0.122	0.108	0.094	0.103	0.107	0.114	0.090	0.134
		階層法	0.156	0.134	0.143	0.093	0.089	0.092	0.087	0.079	0.127
C	化学系Ｂ学会	順位法	0.079	0.093	0.106	0.091	0.087	0.138	0.133	0.112	0.161
	一般会員	配分法	0.095	0.089	0.104	0.083	0.085	0.126	0.121	0.117	0.182
		階層法	0.089	0.082	0.098	0.086	0.072	0.134	0.135	0.107	0.197
F＋D	早大理工	順位法	0.105	0.110	0.129	0.078	0.092	0.122	0.117	0.089	0.157
	学生	配分法	0.108	0.106	0.128	0.080	0.095	0.117	0.107	0.088	0.171
		階層法	0.094	0.112	0.135	0.082	0.094	0.116	0.104	0.083	0.180
G	大妻女子大	順位法	0.109	0.097	0.114	0.061	0.122	0.111	0.101	0.126	0.159
	学生	配分法	0.110	0.098	0.105	0.071	0.114	0.097	0.092	0.126	0.186
		階層法	0.096	0.090	0.107	0.065	0.108	0.101	0.106	0.135	0.190
H	環境科学者	順位法	0.146	0.110	0.110	0.090	0.106	0.109	0.101	0.101	0.128
		配分法	0.160	0.109	0.101	0.090	0.113	0.098	0.093	0.097	0.139
		階層法	0.154	0.106	0.101	0.076	0.112	0.103	0.100	0.097	0.151
I	釜山水産大	順位法	0.067	0.106	0.113	0.081	0.063	0.133	0.152	0.106	0.179
	学生	配分法	0.069	0.093	0.095	0.072	0.064	0.122	0.137	0.104	0.245
		階層法	0.081	0.087	0.088	0.078	0.075	0.122	0.165	0.119	0.185
J	ｱﾑｽﾃﾙﾀﾞﾑ大	順位法	0.104	0.104	0.119	0.074	0.135	0.111	0.127	0.108	0.119
	学生	配分法	0.120	0.125	0.119	0.072	0.111	0.109	0.120	0.101	0.123
		階層法	0.101	0.087	0.112	0.065	0.123	0.135	0.146	0.097	0.134
K	ヨーロッパ	順位法	0.109	0.161	0.141	0.107	0.101	0.111	0.103	0.050	0.117
	環境科学者	配分法	0.118	0.174	0.152	0.094	0.087	0.103	0.104	0.050	0.119
		階層法	0.081	0.223	0.211	0.085	0.064	0.096	0.085	0.037	0.119

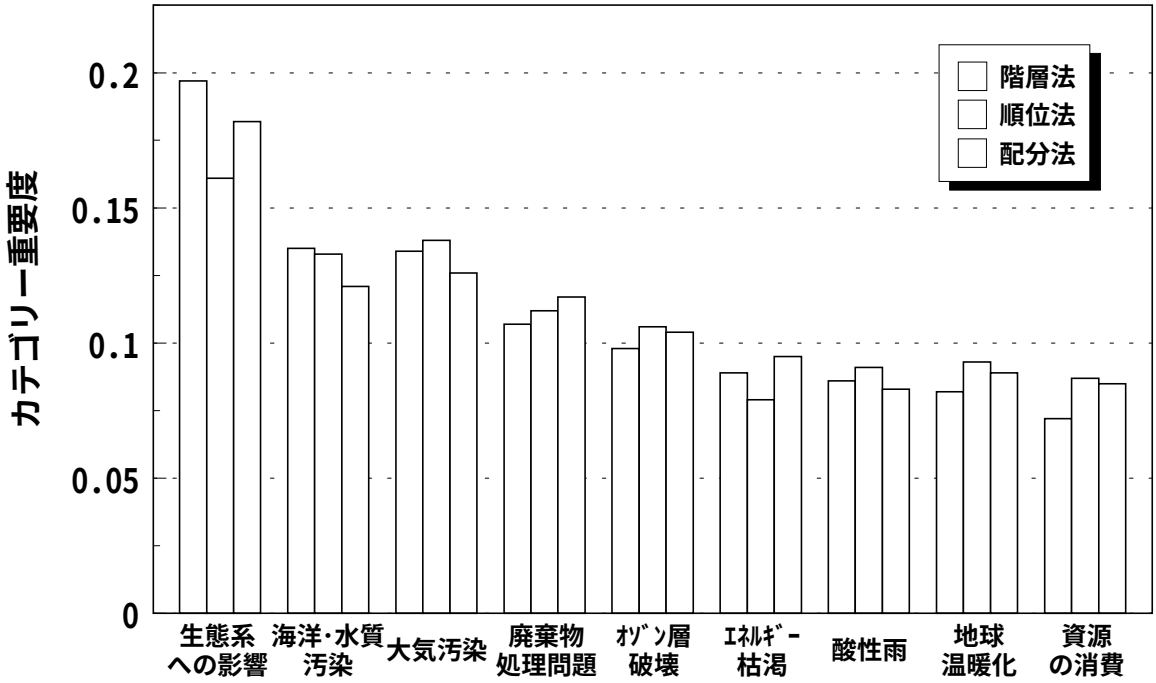

図３．１．１　回答形式による比較（一般会員）

４．　統合化指標ＥＬＰの概要

アンケートにより推定したカテゴリー重要度を用いて，指標統合の手法を提案した．まず，特性解析におけるカテゴリー内の重み付け係数を整理するとともに，これにカテゴリー重要度を考慮した指標統合化手法を示す．

４．１　カテゴリー内の重み付け係数

指標統合化を行うためには，その前段階でカテゴリー内での重み付けによる特性解析を行う必要がある．以下にカテゴリー内の重み付け係数の設定法を示す．

（1）　エネルギー枯渇

エネルギー枯渇に寄与する物質に関しては，その低位発熱量（MJ/kg）と可採年数の逆数（可採埋蔵量／年間生産量）の積を重み付け係数とした．エネルギー枯渇係数は原油を１として相対化したものである．表４．１に可採埋蔵量，年間生産量，表４．１．２にエネルギー枯渇係数を示す．

表４．１．１　可採埋蔵量，年間生産量および低位発熱量

個別項目		可採埋蔵量	年間生産量	低位発熱量 MJ/kg	可採年数 年
原油（バレル）	oil	*1 9.97E+11	*1 2.19E+10	*5 4.27E+01	4.56E+01
石炭（t）	coal	*2 1.04E+12	*2 4.75E+09	*6 2.64E+01	2.19E+02
天然ガス（m^3）	natural gas	*1 1.38E+14	*1 2.16E+12	*7 4.94E+01	6.39E+01
ウラン鉱石(精鉱t)	uranium ore	*3 2.00E+06	*3 2.70E+04	*8 1.11E+03	7.41E+01
原木（ha）	wood	*4 3.59E+09	*4 1.15E+07	*9 1.67E+01	3.12E+02

注）＊1　Oil&Gas Journal，1992.
＊2　世界エネルギー会議，1992.
＊3　ＯＥＣＤ，ＮＥＡ，ＩＡＥＡ，1992.
＊4　ＷＲＩ，World Resources，1992.
　　可採埋蔵量：森林および林地の面積，年生産量：年間平均森林減少面積．
＊5　火力原子力発電技術協会，火力原子力発電必携，1993.
＊6　資源エネルギー庁編，コールノート，1992.
＊7　東京ガス　ヒアリング．
＊8　PRe Consultants，SimaPro 2.0，1993.
＊9　（社）プラスチック処理促進協会，ファクトシート，1992.

表４．１．２　エネルギー枯渇係数

	個別項目		重み付け係数 1/kg
原材料	原油	oil	1.00E+00
	石炭	coal	1.29E-01
	天然ガス	natural gas	8.25E-01
	ウラン鉱石	uranium ore	1.60E+01
	原木	wood	5.72E-02

（２）　地球温暖化

地球温暖化に寄与する物質に関しては，地球温暖化ポテンシャル（ＧＷＰ：Global Warming Potential）100 年値を用いた．ＧＷＰはCO_2を１とした相対的パラメータである．表４．１．３に地球温暖化係数（GWP_{100}）を示す．

表４．１．３　地球温暖化係数

	個別項目		重み付け係数 1/kg
	二酸化炭素	CO_2	1.00E+00
	メタン	methane	2.45E+01
	亜酸化窒素	N_2O	3.20E+02
	フロン-11	CFC-11	4.00E+03
	フロン-12	CFC-12	8.50E+03
	フロン-13	CFC-13	1.17E+04
	フロン-113	CFC-113	5.00E+03
	フロン-114	CFC-114	9.30E+03
	フロン-115	CFC-115	9.30E+03
	HCFC-22	HCFC-22	1.70E+03
	HCFC-123	HCFC-123	9.30E+01
大	HCFC-124	HCFC-124	4.80E+02
	HCFC-141b	HCFC-141b	6.30E+02
	HCFC-142b	HCFC-142b	2.00E+03
気	HCFC-225ca	HCFC-225ca	1.70E+02
	HCFC-225cb	HCFC-225cb	5.30E+02
	四塩化炭素	tetrachloromethane	1.40E+03
へ	ﾒﾁﾙｸﾛﾛﾎﾙﾑ	methyl chloroform	1.10E+02
	ハロン-1301	HALON-1301	5.60E+03
	HFC-23	HFC-23	1.21E+04
の	HFC-32	HFC-32	5.80E+02
	HFC-43-10mee	HFC-43-10mee	1.60E+03
	HFC-125	HFC-125	3.20E+03
排	HFC-134	HFC-134	1.20E+03
	HFC-134a	HFC-134a	1.30E+03
	HFC-152a	HFC-152a	1.40E+02
出	HFC-143	HFC-143	2.90E+02
	HFC-143a	HFC-143a	4.40E+03
	HFC-227ea	HFC-227ea	3.30E+03
	HFC-236fa	HFC-236fa	8.00E+03
	HFC-245ca	HFC-245ca	6.10E+02
	クロロホルム	chloroform	5.00E+00
	塩化メチレン	methylene chloride	9.00E+00
	六フッ化硫黄	sulphur hexafluoride	2.49E+04
	過ﾌﾙｵﾛﾒﾀﾝ	perfluoromethane	6.30E+03
	過ﾌﾙｵﾛｴﾀﾝ	perfluoroethane	1.25E+04
	過ﾌﾙｵﾛｼｸﾛﾌﾞﾀﾝ	perfluorocyclo-butane	9.10E+03
	過ﾌﾙｵﾛﾍｷｻﾝ	perfluorohexane	6.80E+03

（3） オゾン層破壊

オゾン層の破壊に寄与する物質に関しては,オゾン層破壊ポテンシャル（ＯＤＰ：Ozone Depletion Potential）を用いた．ＯＤＰはＣＦＣ-11を１とした相対的パラメータである．表４．１．４にオゾン層破壊係数を示す.

表４．１．４ オゾン層破壊係数

	個別項目		重み付け係数 1/kg
	1,1,1-ﾄﾘｸﾛﾛｴﾀﾝ	1,1,1-trichloroethane	1.20E-01
	フロン（ハード）	CFC(hard)	1.00E+00
	フロン（ソフト）	CFC(soft)	5.50E-02
	フロン-11	CFC-11	1.00E+00
	フロン-113	CFC-113	1.07E+00
	フロン-114	CFC-114	8.00E-01
大	フロン-115	CFC-115	5.00E-01
	フロン-12	CFC-12	1.00E+00
気	臭化メチル	CH_3Br	6.00E-01
	ハロン-1201	HALON-1201	1.40E+00
へ	ハロン-1202	HALON-1202	1.25E+00
	ハロン-1211	HALON-1211	4.00E+00
の	ハロン-1301	HALON-1301	1.60E+01
	ハロン-2311	HALON-2311	1.40E-01
排	ハロン-2401	HALON-2401	2.50E-01
	ハロン-2402	HALON-2402	7.00E+00
出	HCFC-123	HCFC-123	2.00E-02
	HCFC-124	HCFC-124	2.20E-02
	HCFC-141b	HCFC-141b	1.10E-01
	HCFC-142b	HCFC-142b	6.50E-02
	HCFC-22	HCFC-22	5.50E-02
	HCFC-225ca	HCFC-225ca	2.50E-02
	HCFC-225cb	HCFC-225cb	3.30E-02
	四塩化炭素	tetrachloromethane	1.08E+00

（4） 酸性雨

酸性雨等の酸性化に寄与する物質に関しては，酸性化ポテンシャル（ＡＰ：Acidification Potential）を用いた．ＡＰはＳＯｘを１とした相対的パラメータである．表４．１．５に酸性化係数を示す.

表４．１．５ 酸性化係数

	個別項目		重み付け係数 1/kg
大	窒素酸化物	NOx(NO_2)	7.00E-01
気	一酸化窒素	NO	1.07E+00
へ	硫黄酸化物	SOx(SO_2)	1.00E+00
の	アンモニウム	ammonium	1.88E+00
排	塩化水素	HCl	8.80E-01
出	フッ化水素	HF	1.60E+00
	アンモニア	NH_3	1.88E+00

（5） 資源の消費

エネルギー物質を除いた資源物質の消費に関しては，可採年数の逆数（可採埋蔵量／年間生産量）を用いた．資源消費係数は鉄鉱石を１として相対化した．表４．１．６に可採埋蔵量，年間生産量，表４．１．７に資源消費係数を示す．

表４．１．６　可採埋蔵量，年間生産量

個別項目		可採埋蔵量 t	年間生産量 t	可採年数 年
鉄鉱石	iron ore	1.47E+11	9.43E+08	1.56E+02
ボーキサイト	bauxite	2.18E+10	9.91E+07	2.20E+02
銅	Cu	3.52E+08	8.83E+06	3.99E+01
鉛	Pb	7.00E+07	3.45E+06	2.03E+01
亜鉛	Zn	1.47E+08	7.04E+06	2.09E+01
アンチモン	Sb	4.20E+06	8.28E+04	5.07E+01
ヒ素	As	1.00E+06	5.50E+04	1.82E+01
ビスマス	Bi	8.95E+04	3.32E+03	2.70E+01
カドミウム	Cd	5.35E+05	2.07E+04	2.58E+01
クロム	Cr	1.03E+09	1.20E+07	8.61E+01
コバルト	Co	3.31E+06	3.87E+04	8.55E+01
ガリウム	Ga	1.10E+05	7.10E+01	1.55E+03
金	Au	4.20E+04	1.91E+03	2.20E+01
インジウム	In	1.69E+03	1.10E+02	1.54E+01
水銀	Hg	1.30E+05	5.76E+03	2.26E+01
ニッケル	Ni	4.90E+07	8.39E+05	5.84E+01
白金族	Pt	5.60E+04	2.70E+02	2.07E+02
希土類元素		4.50E+04	5.00E+01	9.00E+02
レニウム	Re	2.70E+03	2.90E+01	9.31E+01
セレン	Se	8.00E+04	1.45E+03	5.52E+01
銀	Ag	2.80E+05	1.40E+04	2.00E+01
タリウム	Tl	3.77E+02	1.60E+01	2.36E+01
スズ	Sn	4.28E+06	2.10E+05	2.04E+01
タングステン	W	2.57E+06	4.30E+04	5.97E+01
モリブデン	Mo	*1 1.20E+07	*2 9.91E+04	1.21E+02
マンガン	Mn	*1 4.80E+09	*3 2.39E+07	2.01E+02
バナジウム	V	*1 2.70E+07	*4 3.17E+04	8.51E+02
タンタル	Ta	*1 3.50E+04	*5 2.89E+02	1.21E+02
マグネシウム	Mg	*1 3.40E+09	*1 3.09E+06	1.10E+03
ゲルマニウム	Ge	*6 8.60E+06	*7 1.33E+02	6.49E+04
リチウム	Li	*1 8.40E+06	*1 5.60E+03	1.50E+03
ジルコニウム	Zr	*8 5.80E+07	*9 9.69E+05	5.99E+01

注）＊1 Mineral Commodity Summaries，1993.
＊2 工業レアメタル.
＊3 Roskill The Economics of Manganese 6th Edition，1991.
＊4 Roskill The Economics of Vanadium 7th Edition，1989.
＊5 CLUMBIUM AND TANTALIUM MINERALS YEARBOOK，1988.
＊6 Mineral Commodity Profiles，1983.
＊7 Roskill The Economics of Germanium 6th Edition，1990.
＊8 Mineral Commodity Summaries，1983.
＊9 Roskill The Economics of Zirconium 6th Edition，1990.
＊ 注の無いものはＵＳＢＭ，1990， 資源エネルギー庁，1990，アルム出版社.

表４．１．７　資源消費係数

	個別項目		重み付け係数 1/kg
	鉄鉱石	iron ore	1.00E+00
	ボーキサイト	bauxite	7.10E-01
	銅	Cu	3.92E+00
	鉛	Pb	7.70E+00
	亜鉛	Zn	7.49E+00
	アンチモン	Sb	3.08E+00
	ヒ素	As	8.60E+00
	ビスマス	Bi	5.80E+00
	カドミウム	Cd	6.05E+00
	クロム	Cr	1.82E+00
	コバルト	Co	1.83E+00
原	ガリウム	Ga	1.01E-01
	金	Au	7.11E+00
	インジウム	In	1.02E+01
	水銀	Hg	6.93E+00
材	ニッケル	Ni	2.68E+00
	白金族	Pt	7.54E-01
	希土類元素		1.74E-01
	レニウム	Re	1.68E+00
料	セレン	Se	2.83E+00
	銀	Ag	7.82E+00
	タリウム	Tl	6.63E+00
	スズ	Sn	7.67E+00
	タングステン	W	2.62E+00
	モリブデン	Mo	1.29E+00
	マンガン	Mn	7.77E-01
	バナジウム	V	1.84E-01
	タンタル	Ta	1.29E+00
	マグネシウム	Mg	1.42E-01
	ゲルマニウム	Ge	2.41E-03
	リチウム	Li	1.04E-01
	ジルコニウム	Zr	2.61E+00

（６）　大気汚染

大気中へ排出される環境汚染物質のうち，人の健康に影響を及ぼす物質に関して，わが国の環境基本法の環境基準値，大気汚染防止法の有害物質の想定環境濃度などの逆数から重み付け係数を算出した．基準値に幅がある場合には，最も厳しい値を採用し，ＳＯｘを１として相対化した．表４．１．８に大気汚染係数を示す．

表４．１．８　大気汚染係数

	個別項目		重み付け係数 1/kg
	硫黄酸化物	SOx(SO_2)	1.00E+00
	一酸化炭素	CO	9.16E-03
大	ばいじん	particulates	1.09E+00
気	窒素酸化物	NOx(NO_2)	1.40E+00
へ	1,1,1-ﾄﾘｸﾛﾛｴﾀﾝ	1,1,1-trichloroethane	8.06E-01
の	カドミウム	Cd	1.24E+02
排	塩素	Cl	3.69E+00
出	塩化水素	HCl	7.25E-01
	フッ素	F	3.69E+01
	鉛	Pb	1.09E+01

（７）　海洋・水質汚染

海洋・水質汚染に寄与する物質に関しては，環境基本法に基づく水質汚濁に係わる人の健康の保護に関する物質および水質汚濁防止法で定める生活環境項目のうち，係数設定が困難である水素イオン濃度（pH），大腸菌群数を除いた物質をカテゴリー個別項目とした．重み付け係数は主に環境基準値，水質汚濁防止法排水基準値の逆数から算出し，ＢＯＤ（生物化学的酸素要求量）を１として相対化した．表４．１．９に水質汚濁係数を示す．

表４．１．９　水質汚濁係数

	個別項目		重み付け係数 1/kg
	カドミウム	Cd	2.00E+03
	全シアン	T-CN	2.00E+02
	鉛	Pb	2.00E+03
	六価クロム		4.00E+02
	ヒ素	As	2.00E+03
	総水銀	T-Hg	4.00E+04
	アルキル水銀	R-Hg	6.67E+06
	ＰＣＢ	PCB	6.67E+04
	ｼﾞｸﾛﾛﾒﾀﾝ	dichloromethane	1.00E+03
	四塩化炭素	tetrachloromethane	1.00E+04
	1,2-ｼﾞｸﾛﾛｴﾀﾝ	1,2-dichloroethane	5.00E+03
水	1,1-ｼﾞｸﾛﾛｴﾁﾚﾝ	1,1-dichloroethylen	1.00E+03
	ｼｽ-1,2-ｼﾞｸﾛﾛｴﾁﾚﾝ	cis-1,2-dichloroethylen	5.00E+02
	1,1,1-ﾄﾘｸﾛﾛｴﾀﾝ	1,1,1-trichloroethane	2.00E+01
域	1,1,2-ﾄﾘｸﾛﾛｴﾀﾝ	1,1,2-trichloroethane	3.33E+03
	ﾄﾘｸﾛﾛｴﾁﾚﾝ	TCE	6.67E+02
	ﾃﾄﾗｸﾛﾛｴﾁﾚﾝ	PCE	2.00E+03
へ	1,3-ｼﾞｸﾛﾛﾌﾟﾛﾍﾟﾝ	1,3-dichloropropen	1.00E+04
	チウラム	thiuram	3.33E+03
	シマジン	simazine	6.67E+03
の	チオベンカルブ		1.00E+03
	ベンゼン	benzene	2.00E+03
	セレン	Se	2.00E+03
排	生物化学的酸素要求量	BOD	1.00E+00
	化学的酸素要求量	COD	1.00E+00
	浮遊物質量	SS	2.86E-01
出	ﾉﾙﾏﾝﾍｷｻﾝ抽出物質含有量･鉱油含有量		4.00E+00
	ﾉﾙﾏﾝﾍｷｻﾝ抽出物質含有量･動植物油脂含有量		6.67E-01
	フェノール類	Ph-OH	4.00E+00
	*1 原油	cruid oil	4.00E+00
	*1 多環芳香族炭化水素	PAH	4.00E+00
	銅	Cu	6.67E+00
	亜鉛	Zn	4.00E+00
	溶解性鉄	S-Fe	2.00E+00
	溶解性ﾏﾝｶﾞﾝ	S-Mn	2.00E+00
	クロム	T-Cr	1.00E+01
	フッ素	F	1.33E+00
	窒素含有量	T-N	1.00E+00
	リン含有量	T-P	2.00E+01

注）＊1　フェノール類の値を使用．

（８）廃棄物処理問題

廃棄物処理問題に関しては，固形廃棄物の排出量（kg）そのものをポテンシャルとし，それぞれの物質について重み付けは行わず，固形廃棄物排出係数を１とした.

（９）　生態系への影響

生態系への影響に関しては，オランダのＲＩＶＭ：国立公衆衛生・環境保全研究所（National Institute of Public Health and Environmental Protection）において２つのグループの定量化ファクター,水圏の生態系ファクター(ＥＣＡ: Ecotoxicological Classification Factor for Aquatic Ecosystems)，陸界の生態系ファクター（ＥＣＴ：Ecotoxicological Classification Factor for Terrestrial Ecosystems）が設定されている．今回生態毒性係数として，陸界へ影響は地下水への影響と同等であり，水圏の生態系影響に含まれると考え，ＥＣＡのみを用いた（SimaPro2.0 より）．生態毒性係数を表４．１．１０に示す.

表４．１．１０　生態毒性係数

	個別項目		重み付け係数 1/kg
	1,1,2,2-ﾃﾄﾗｸﾛﾛｴﾀﾝ	1,1,2,2-tetrachloroethane	2.00E-02
	1,2-ｼﾞｸﾛﾛｴﾀﾝ	1,2-dichloroethane	9.40E-04
	2,5,2-ﾄﾘｸﾛﾛﾋﾞﾌｪﾆｰﾙ	2,5,2-trichlorobiphenyl	1.00E+02
	吸着可能有機ﾊﾛｹﾞﾝ	AOX	9.40E-04
	ヒ素	As	2.00E-01
	ベンゼン	benzene	2.90E-02
	ベンゾピレン	benzo(a)pyrene	4.00E+01
	カドミウム	Cd	2.00E+02
水	ｸﾛﾛﾍﾞﾝｾﾞﾝ類	chlorobenzenes	1.60E-01
	ｸﾛﾛﾌｪﾉｰﾙ類	chlorophenols	5.60E+00
	コバルト	Co	1.00E+00
域	クロム	Cr	1.00E+00
	原油	cruid oil	5.00E-02
	銅	Cu	2.00E+00
へ	炭化水素	CxHy	5.00E-02
	脂肪族炭化水素	CxHy aliphatic	5.00E-02
	芳香族炭化水素	CxHy aromatic	2.90E-02
の	塩素系炭化水素	CxHy chloro	9.40E-04
	シアニド	Cyanide	5.00E-02
	ダイオキシン	dioxin	1.40E+03
排	ﾍｷｻｸﾛﾛﾋﾞﾌｪﾆｰﾙ	hexachlorobiphenyl	1.00E+02
	水銀	Hg	5.00E+02
	ｲｿﾌﾟﾛﾊﾟﾉｰﾙ	isopropanol	5.00E-02
出	多環芳香族炭化水素	PAH	4.00E+01
	鉛	Pb	2.00E+00
	ﾍﾟﾝﾀｸﾛﾛﾌｪﾉｰﾙ	pentachlorophenol	5.60E+00
	ガソリン	petrol	5.00E-02
	フェノール	phenol	5.90E+00
	ﾎﾟﾘｸﾛﾛﾋﾞﾌｪﾆｰﾙ類	polychlorobiphenyls	1.00E+02
	四塩化炭素	trichloromethane	1.70E-01
	塩化ビニル	vinylchloride	9.40E-04
	亜鉛	Zn	3.80E-01

以上, 各カテゴリー内の指標の設定方法をまとめて, 対象項目数とともに表４．１．１１に示す. それぞれ括弧内に示すように相対化を行っている．特記すべきは，資源の消費のカテゴリーに原則として，原油や木材等のエネルギーの枯渇で考慮した個別環境負荷項目は含めないことである．これは以下の理由による.

① 原油等にはプラスチックなど原材料として用いられる場合もあるが, サーマルリサイクルまで考慮すると，はじめからポテンシャルエネルギーを内包させておくべきである.
② 原油等をエネルギーの枯渇と資源の消費の両カテゴリーで評価することは, 過度の環境負荷をこれらに負わせることになると判断される.

表４．１．１１　カテゴリー内の重み付け係数

インパクトカテゴリー	重み付け係数	対象項目数
エネルギー枯渇	低発熱量／可採年数　（原油＝１）*2	５
地球温暖化	GWP_{100} *1（CO_2＝１）*2	３８
オゾン層破壊	ＯＤＰ　（ＣＦＣ-11＝１）*2	２４
酸性雨	ＡＰ［酸性化ポテンシャル］（ＳＯｘ＝１）*2	７
資源の消費 *3	１／可採年数　（鉄鉱石＝１）*2	３２
大気汚染	１／環境基準　（ＳＯｘ＝１）*2	１０
海洋・水質汚染	１／環境基準　（ＢＯＤ＝１）*2	３７
廃棄物処理問題	１［重量換算］	１
生態系への影響	ＥＣＡ［水圏生態毒性定量化ファクター］（Ｃｒ＝１）*2	３２

＊１　ＩＰＣＣの最新データより　　＊２　括弧内の項目を１として相対化
＊３　原油の消費を含まず

４．２　カテゴリー重要度を用いた指標統合化手法

アンケートにより推定したカテゴリー重要度を指標統合化に反映させるため, ＥＬＰを提案する.

ＥＬＰは，はじめにカテゴリーごとの重み付け係数（$C_{j,k}$）に，原油，石炭などの年間投入量およびCO_2，ＮＯｘなどの年間排出量（TQ_k：世界値, 日本値を設定したが今回は日本値を使用）を乗じ合算する．この値をカテゴリーごとの年間総負荷（A_j）とする．次にカテゴリーごとの重み付け係数にアンケートから得られたカテゴリー重要度（W_j）を掛け，年間総負荷で割り，個別環境項目ごとに合算して統合化係数（ELF_k）を算出する．同じ物質でも複数のカテゴリーに存在する場合（例えば，ＳＯｘは酸性雨および大気汚染に存在する）は，物質ごとに合計してＥＬＦとした. そして, インベントリー分析からの投入･排出量を掛け合算することでＥＬＰを算出する. 以上を数式で表現すると，図４．２．１の通りになる.

この方法は，個別環境項目の年間投入・排出量（表４.）を用いて規準化（Normalization）を行っていると考えることができるが，この値が不明の個別環境項目が多く，考慮できる項目が限定される欠点がある．しかし評価される製品（もの）単独で統合化指標が得られ，全く機能単位が異なるもの（例：自動車とＰＥＴボトル）を評価する上ではこの方法が有効となる.

〔*ELP*〕

$$A_j = \sum_k \left(C_{j,k} \times TQ_k \right)$$

$$ELF_k = \sum_j \left(C_{j,k} \times W_j \,/\, A_j \right) \times 10^{16}$$

$$ELP_i = \sum_k \left(ELF_k \times Q_{i,k} \right)$$

ELP_i：i 製品あるいは事象の統合化指標
A_j　：j カテゴリーごとの年間総負荷
$C_{j,k}$　：j カテゴリー内の k 項目の重み付け係数
TQ_k　：k 項目の年間投入・排出量(kg)*
W_j　：j カテゴリーの重要度
ELF_k　：k 項目の統合化係数(ELP/kg)
$Q_{i,k}$　：i 製品あるいは事象における k 項目の投入・排出量(kg)
添字　i ：製品あるいは事象
j ：インパクトカテゴリー
k ：個別環境項目

＊年間投入・排出量は日本値，世界値を設定

図４．２．１　ＥＬＰの算出方法

表４．２．１　対象物質の年間投入・排出量（その１）

	個別項目		年間投入･排出量 kg	
	原油	oil		2.64E+11
	石炭	coal	*1	1.30E+11
	天然ガス	natural gas	*1	4.26E+10
	ウラン鉱石	uranium ore	*1	1.75E+09
	原木	wood	*2	4.84E+10
	鉄鉱石	iron ore		1.23E+11
原	ボーキサイト	bauxite		1.25E+10
	銅	Cu		1.27E+09
	鉛	Pb		2.71E+08
	亜鉛	Zn		2.64E+08
材	アンチモン	Sb		6.57E+06
	ビスマス	Bi		5.12E+05
	カドミウム	Cd		2.51E+06
	クロム	Cr		1.05E+09
料	コバルト	Co		4.81E+06
	ガリウム	Ga		1.90E+04
	金	Au		4.24E+05
	インジウム	In		4.80E+04
	水銀	Hg		5.40E+04
	ニッケル	Ni		5.90E+07
	白金族	Pt		6.70E+04
	希土類元素			4.40E+03

注）＊1　資源エネルギー庁，総合エネルギー統計．
＊2　ＦＡＯ，Yearbook of Forest Product，1991，
ＦＡＯ，Forest Resources，1985，
林野庁，林業統計要覧，1993．

表４．２．２　対象物質の年間投入，排出量（その２）

	個別項目		年間投入･排出量 kg
原材料	セレン	Se	5.09E+05
	銀	Ag	8.53E+05
	スズ	Sn	3.38E+07
	タングステン	W	3.10E+06
	モリブデン	Mo	*3 1.02E+07
	マンガン	Mn	*4 1.62E+06
	バナジウム	V	*5 3.80E+06
	タンタル	Ta	*6 1.29E+05
	マグネシウム	Mg	*7 1.96E+07
	ゲルマニウム	Ge	*8 1.90E+04
	リチウム	Li	*7 6.52E+05
	ジルコニウム	Zr	*7 1.69E+08
大気への排出	二酸化炭素	CO_2	*11 1.13E+12
	窒素酸化物	NOx(NO_2)	*11 1.48E+09
	硫黄酸化物	SOx(SO_2)	*11 8.76E+08
	亜酸化窒素	N_2O	*11 4.70E+07
	メタン	methane	*11 1.34E+09
	非メタン炭化水素	NMHC	*12 1.39E+09
	ばいじん	particulates	*12 1.01E+08
	フロン	CFCs	*13 1.11E+08
*9 水域	生物化学的酸素要求量	BOD	*14 7.80E+08
	化学的酸素要求量	COD	*14 1.56E+09
*10 固	固形廃棄物	Solid Waste	*15 3.60E+11

注）＊3　Roskill The Economics of Molybdenum 4th Edition, 1985.
＊4　Roskill The Economics of Manganese 7th Edition, 1991.
＊5　Roskill The Economics of Vanadium 5th Edition, 1986.
＊6　Roskill's Metal Databook 2nd Edition, 1980.
＊7　Roskill's Metal Databook 6th Edition, 1985.
＊8　Roskill The Economics of Germanium 5th Edition, 1988.
＊11　ＯＥＣＤ，ENVIRONMENTAL INDICATORS，1994.
＊12　環境庁，環境白書,1980，　環境庁委託調査資料.
＊13　ＯＥＣＤ，ENVIRONMENTAL DATA COMPENDIUM，1993.
＊14　中西淳子，水の環境戦略，岩波書店，1994.
＊15　ＯＥＣＤ，The State of The Environment，1991.
＊　注の無いものはＵＳＢＭ 1990，
資源エネルギー庁，1990，　アルム出版社.

以上のデータより ELF の算出を行う